ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Ανάπτυξη λογισμικού για την βελτιστοποίηση της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς*(Rosa hybrida,L.)*»

ΖΑΝΤΖΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Βόλος, 2018

«Ανάπτυξη λογισμικού για την βελτιστοποίηση της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς»

ΖΑΝΤΖΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Λύκας Χρήστος(Επιβλέπων)

Επίκουρος Καθηγητής Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Κατσούλας Νικόλαος(Μέλος)

Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα θερμοκήπια, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Πετρόπουλος Σπυρίδων(Μέλος)

Επίκουρος Καθηγητής Λαχανοκομίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Πρόλογος

Με την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών, κρίνω απαραίτητο να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας.

Αρχικά, θα ήθελα ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου και Επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου διατριβής κ.Λύκα Χρήστο, Επίκουρο καθηγητή Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου, για την βοήθεια που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στους κ.κ Κατσούλα Νικόλαο , Αναπληρωτή καθηγητή και Πετρόπουλο Σπυρίδωνα, Επίκουρο καθηγητή για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγο μου Βασιλική, τη κόρη μου Κατερίνα και το γιο μου Κωνσταντίνο για την υπομονή την οποία επέδειξαν και για το κουράγιο που μου έδιναν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ζάντζος Απόστολος

Βόλος, 2018

Περίληψη

Κατά την μελέτη των μεθόδων που εφαρμόζονται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος, διαπιστώθηκε ότι αυτή βασίζεται σε μια διαδοχική και προκαθορισμένη σειρά με την οποία τα λιπάσματα προστίθενται στο θρεπτικό διάλυμα, ώστε τελικά να επιτευχθεί η επιθυμητή σύνθεσή του. Ωστόσο αυτό δεν είναι ποτέ εφικτό, αφού τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται διατίθενται στο εμπόριο με την μορφή σύμπλοκων αλάτων, με αποτέλεσμα όταν στο διάλυμα προστίθεται και το τελευταίο λίπασμα, ένα από τα θρεπτικά στοιχεία του να βρίσκεται σε έλλειψη ή σε περίσσεια.

Επιλέξαμε λοιπόν να κατανέμουμε το **έλλειμμα** ή τη **περίσσεια** των θρεπτικών στοιχείων έτσι ώστε να μην αφορούν μόνο ένα από αυτά αλλά το σύνολο των θρεπτικών στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος.. Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας παρασκευής ενός διαλύματος με τρόπο ώστε να δημιουργείται ένα κατανεμημένο έλλειμμα ή μια κατανεμημένη περίσσεια σε όλα τα μακροστοιχεία είναι πάρα πολύ σημαντική αφού βοηθά καλύτερα την διατήρηση των αναλογιών μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών**.**

Σκοπός λοιπόν της εργασίας είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου-λογισμικού που αφορά την ανάπτυξη μεθοδολογίας για την βελτιστοποίησης παρασκευής ενός θρεπτικού διαλύματος για την υδροπονική καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς.

Τα κριτήρια τα οποία θεσπίσαμε βελτιώνουν σημαντικά τον τρόπο σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος. Αφού χειριζόμαστε τα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία σαν **αντικείμενα** τα οποία έχουν ιδιότητες και συμπεριφορές, χρησιμοποιώντας τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό.

Συμπερασματικά, η εισαγωγή κριτηρίων που διαμορφώνουν το κάθε θρεπτικό στοιχείο καθιστά την μέθοδο **δυναμική**. Μπορούμε να μεταβάλλουμε τα κριτήρια ή να προσθέσουμε νέα για την εκτίμηση των λιπασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Μειώσαμε την περίσσεια ή το ελλείμμα των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα με συνέπεια την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού και το μικρότερο κόστος καλλιέργειας. Κατακερματίσαμε την περίσσεια ή το ελλείμμα σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία διατηρώντας τους λόγους μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων.

Summary

In the study of the methods applied to the preparation of a nutrient solution, it was found that it is based on a sequential and predetermined order by which the fertilizers are added to the nutrient solution, so that the desired composition is finally achieved. However, this is never feasible, since the fertilizers used are commercially available in the form of complex salts, with the result that when the last fertilizer is added to the solution, one of its nutrients is deficient or in excess.

The aim of the thesis is to create an algorithm and to develop a methodology for optimizing the preparation of a nutrient solution for the hydroponic cultivation of the rose. To solve the problems reported with the technique of preparing a nutrient solution, we chose to allocate the deficit or excess of nutrients to all the complex salts involved in its preparation. Developing a methodology for making a solution so as to create a distributed deficit or a distributed excess in all macroelements is very important since it helps better maintain the proportions between the nutrients necessary for plant growth.

The criteria we have established greatly improve the way nutrient synthesis is important, since we handle the required nutrients as objects having properties and behaviors.

In conclusion, the introduction of criteria that shape the gravity of each nutrient for each calculation cycle makes the method dynamic. We can alter the criteria or add new ones to assess the fertilizer to be used in the nutrient solution. We reduced the excess or nutrient deficiency in the nutrient solution resulting in better plant growth and lower cropping costs. We fragmented the excess or deficit in all nutrients while keeping the ratios between the nutrients.

Εγώ,ο Ζάντζος Απόστολος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) ως προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή του εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον Ζάντζο Απόστολο.

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Ελληνική – Αγγλική Σύντμηση	Ονομασία
Π.Θ	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γ.Π.Α	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Ι.Γ.Ε	Ίδρυμα Γεωργικής Έρευνας
Πίν.	Πίνακας
Εικ.	Εικόνα
στρ.	στρέμματα
κλπ	και λοιπά
Kg	Kilogram
ml	mililiter
ppm	parts per million
^{o}C	Βαθμοί κελσίου
L	Litre
mg	miligram
pH	Συγκέντρωση κατιόντων υδροξωνίου (H3O+) σε υδατικό διάλυμα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενική Εισαγωγή

Στην υδροπονία θρεπτικό διάλυμα ονομάζουμε το υδατικό διάλυμα που περιέχει με τη μορφή ιόντων τα θρεπτικά στοιχεία, τα οποία είναι απαραίτητα για τη σωστή θρέψη των φυτών (Πίν. 1.1). Η δημιουργία ενός σωστού διαλύματος υδροπονίας αποτελεί μια από τις βασικές εργασίες που πρέπει να γίνουν και αποτελεί σημαντικότατο βήμα για την επιτυχία της καλλιέργειας γιατί εγγυάται την σωστή ανάπτυξη των φυτών, την θρέψη τους και την μεγιστοποίηση της παραγωγής με παράλληλη εξοικονόμηση πόρων.

Πίνακας 1.1 Απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και χημικές μορφές με τις οποίες υπάρχουν στο θρεπτικό διάλυμα.

Θρεπτικά στοιχεία και χημικές μορφές			
Μακροστοιχείο	**Χημική μορφή**	**Ιχνοστοιχείο**	**Χημική μορφή**
άζωτο (N)	NO^{3-}, NH^{4+}	σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
φώσφορος (P)	H^2PO^4	μολυβδαίνιο (Mo)	$MoO^{4\,2-}$
θείο (S)	$SO^{4\,2-}$	χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	βόριο (B)	H^3BO^3
κάλιο (K)	K^+	ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}

Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από σύνθετα εμπορικά λιπάσματα που έχει ο παραγωγός στη διάθεση του.

Η παρασκευή του τελικού θρεπτικού διαλύματος γίνεται μέσω πυκνών μητρικών διαλυμάτων (100 φορές πιο πυκνά) τα οποία με δοσομετρική αντλία ή μέσω εγχυτήρων που λειτουργούν με την αρχή Venturi αραιώνονται σε καθορισμένη αναλογία στο νερό άρδευσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δοχεία πυκνών διαλυμάτων και ένα τρίτο που περιέχει οξύ και χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του pH.

Κατά την μελέτη των μεθόδων που εφαρμόζονται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος , διαπιστώθηκε ότι αυτή βασίζεται σε μια διαδοχική και προκαθορισμένη σειρά με την οποία τα λιπάσματα προστίθενται στο θρεπτικό διάλυμα, ώστε τελικά να επιτευχθεί η επιθυμητή σύνθεσή του. Ωστόσο αυτό δεν είναι ποτέ εφικτό, αφού τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται (Πίνακας 1.2 και 1.3) διατίθενται στο εμπόριο με την μορφή σύμπλοκων αλάτων, με αποτέλεσμα όταν στο διάλυμα προστίθεται και το τελευταίο λίπασμα, ένα από τα ιόντα που περιέχονται στο θρεπτικό διάλυμα να βρίσκεται σε έλλειψη ή σε περίσσια. Επειδή αυτό αποτελεί μια αναπόφευκτή συνθήκη επιλέγεται ως λίπασμα που θα προστεθεί τελευταίο κάποιο που περιέχει ένα βασικό θρεπτικό στοιχείο όπως NO_3^- ή K^+ και ένα σύμπλοκο στοιχείο στο οποίο δεν εμφανίζουν εύκολα τοξικότητα τα φυτά, όπως το Mg^{2+} ή τα SO4**[1].** Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλη η περίσσια των θρεπτικών στοιχείων (δηλαδή το σφάλμα) όπως και η αυξημένη αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος να οφείλεται σε ένα μόνο θρεπτικό στοιχείο, το οποίο βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση από αυτή που απαιτείται.

Πίνακας 1.2 Βασικά λιπάσματα μακροστοιχείων.

Λιπάσματα μακροστοιχείων	**Χημικό Τύπος**
Νιτρικό Ασβέστιο	$Ca(NO_3)_2$
Νιτρικό Κάλιο	KNO_3
Νιτρική Αμμωνία	$(NH_4)(NO_3)$
Νιτρικό Μαγνήσιο	$Mg(NO_3)_2$
Φωσφορικό μονοκάλιο	$KH_2\ PO_4$
Φωσφορικό οξύ	H_3PO_4
Θειικό Μαγνήσιο	$MgSO_4$
Θειικό Κάλιο	K_2SO_4

Πίνακας 1.3 Βασικά λιπάσματα ιχνοστοιχείων.

Λιπάσματα Ιχνοστοιχείων
Θειικό Μαγγάνιο
Θειικός Ψευδάργυρος
Βορικό Οξύ
Μολυβδαινικό Νάτριο
Επταμολυβδαινικό αμμώνιο
Θειικός Χαλκός
Βόρακας

1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος

Ένα θρεπτικό διάλυμα πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές ή φάσμα τιμών του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC καθώς και της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων. Αυτά αποτελούν και τα βασικά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την ανάπτυξη μίας βέλτιστης στρατηγικής διαχείρισή του.

1.2.1 pH και θρεπτικό διάλυμα

Το pH αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας ενός διαλύματος. Οι τιμές του pH ενός θρεπτικού διαλύματος επηρεάζουν τη σύνθεσή του και την διαθεσιμότητα των στοιχείων που περιέχει. Κάθε στοιχείο αποκρίνεται διαφορετικά στις μεταβολές του PH του θρεπτικού διαλύματος**[2]**.Στην υδροπονία η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από την τιμή του pH γιατί αυτή επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών**[3]**.

Η παρουσία HCO3 - στο νερό άρδευσης το καθιστά αλκαλικό. Για να μειωθεί το pH του νερού απαιτείται η προσθήκη οξέως (H+) για την απομάκρυνση των ιόντων HCO3 - . Η παροχή H+ όμως συνοδεύεται και από την προσθήκη ενός ανιόντος (συνήθως NO3 -) που πρέπει να συνυπολογισθεί στις χορηγούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων.

1.2.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα και θρεπτικό διάλυμα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), είναι ο δείκτης που προσδιορίζει το συνολικό ποσό των αλάτων σε ένα διάλυμα, αποτελεί έναν καλό δείκτης της ποσότητας των διαθέσιμων ιόντων στις ρίζες των φυτών**[4]**.Η επιθυμητή ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) είναι διαφορετική για κάθε καλλιέργεια και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, την εποχή κατά την οποία αυτή πραγματοποιείται, τις παραμέτρους του αέριου και ριζικού περιβάλλοντος του φυτού **[5]**. Όταν οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι στο κατώτερο όριο αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε κάποια βασικά θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Υψηλές τιμές πάνω από μία τιμή σημαίνει ότι η συνολική περιεκτικότητα του διαλύματος σε ένα ή περισσότερα άλατα είναι μεγάλη. Αυτό μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις ρίζες των φυτών ή σημαντική μεταβολή του λόγου μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.

Η συνολική αγωγιμότητα υπολογίζεται από την σχέση:

Συνολική αγωγιμότητα =**Σ(**Ποσοτητα_Στοιχείου*ΑΜ/ΜΒ)

όπου **ΑΜ :** ο αριθμός των μορίων του στοιχείου

και

ΜΒ : το μοριακό βάρος του στοιχείου.

1.2.3 Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.

Αν και γίνεται προσπάθεια στο θρεπτικό διάλυμα να διατηρήσουμε τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων σε συγκεκριμένες τιμές, ωστόσο οι λόγοι τους έχουν μεγαλύτερη σημασία. Τα θρεπτικά διαλύματα συνήθως περιέχουν έξι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά: N, P, S, K, Ca και Mg. Οι τιμές των στοιχείων αυτών στο θρεπτικό διάλυμα μεταβάλλονται μακροχρόνια λόγω της απορρόφησης τους από τα φυτά, ανάλογα με το είδος του φυτού και το στάδιο ανάπτυξής του.

Πίνακας 1.4 Συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται σε υδροπονική καλλιέργεια ντομάτας, σε στάδια ανάπτυξης των φυτών.

		Διαβροχή	Ταξιανθία 1-3	Ταξιανθία 3-5	Ταξιανθία 5-10	Ταξιανθία 10-
EC	dS/m	2,80	2,50	2,40	2,40	2,20
pH opt,		5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
[K]	mmol/l	7,25	7,75	7,00	7,50	6,50
[Ca]	mmol/l	6,50	4,25	5,00	4,75	4,25
[Mg]	mmol/l	2,50	2,75	2,00	2,00	2,00
[NH_4]	mmol/l	0,75	1,25	1,00	1,00	1,00
[NO_3]	mmol/l	15,5	15,0	12,0	12,0	10,7

(πηγή: Εγχειρίδιο Υδροπονίας Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ)

Πίνακας 1.5 Πρότυπο θρεπτικό διάλυμα για την καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς.

Σύσταση θρεπτικού διαλύματος	
NO_3	762,6 mg/lt
PO_4H_2	97 mg/lt
SO_4	72 mg/lt
NH_4	18 mg/lt
K	253 mg/lt
Ca	160 mg/lt
Mg	24 mg/lt
Fe	1,3 mg/lt
B	0,28 mg/lt
Cu	0,6 mg/lt
Mo	0,027 mg/lt
Mn	0,5 mg/lt
Zn	0,23 mg/lt

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος επηρεάζεται επίσης από την σύνθεση του νερού που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του. Η σύνθεση του νερού που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενός θρεπτικού διαλύματος θα πρέπει να αξιολογείται έτσι ώστε τα αποτελέσματα της να λαμβάνονται υπόψη κατά τον καθορισμό της EC και των συγκεντρώσεων των θρεπτικών **[6]**. Επιπλέον μπορεί κάποια στοιχεία στο νερό να βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που επιθυμούμε στο θρεπτικό διάλυμα. Αυτό συμβαίνει συνήθως με το μαγνήσιο δημιουργώντας επιπρόσθετα προβλήματα. Πολύ συχνά νερό με πολύ υψηλή αλατότητα (EC> 2Ms/cm) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη χρήση του στη Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος**[7]**.

1.3 Πρακτικές που εφαρμόζονται μέχρι σήμερα για την σύνθεση θρεπτικού διαλύματος

Ενώ η εκτίμηση της ποσότητας του θρεπτικού διαλύματος που εφαρμόζεται σε μία υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς εκτιμάται μέσω της διαπνοής των φυτών και κατά συνέπεια μεταβάλλεται συνεχώς η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων είναι σταθερή για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για την καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς, οι επιθυμητές τιμές των στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος φαίνονται στον πίνακα 1.5.

Ένα θρεπτικό διάλυμα μπορεί να παρασκευαστεί με την μεθοδολογία που ακολουθούν οι Savvas and Adamidis **[8]**. Σύμφωνα με την μεθοδολογία αυτή υπάρχει ένας **προκαθορισμένος** τρόπος με τον οποίο επιλέγονται τα λιπάσματα για την συμπλήρωση των στοιχείων που απαιτούνται στο θρεπτικό διάλυμα. Η μέθοδος ξεκινάει να καλύπτει τις ανάγκες του ασβεστίου επιλέγοντας το νιτρικό ασβέστιο αφού είναι το μοναδικό λίπασμα που το περιέχει. Στη συνέχεια ακολουθεί κατά τον ίδιο τρόπο ο υπολογισμός της προσθήκης μαγνησίου επιλέγοντας πρώτα το θειικού μαγνήσιο και μετά το νιτρικό μαγνήσιο. Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η προσθήκη και των υπόλοιπων στοιχείων. Με βάση αυτή την μεθοδολογία διαπιστώθηκε ότι στο τέλος του υπολογισμού κάποιο στοιχείο θα βρισκόταν σε περίσσεια. Άρα η “στατική” αυτή μέθοδος παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος προκαλεί τελικά την περίσσεια ή την έλλειψη σε ένα θρεπτικό στοιχείο, γεγονός που μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά στην ανάπτυξη του φυτού.

Για να επιλύσουμε τα θέματα που αναφέρθηκαν σχετικά με το πρόβλημα που δημιουργεί η παραπάνω μεθοδολογία παρασκευής ενός θρεπτικού διαλύματος, έγινε προσπάθεια κατανομής της περίσσιας ή του ελλείμματος σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία ώστε να προσεγγίζονται κατά το περισσότερο δυνατό οι απόλυτες τιμές των επιθυμητών συγκεντρώσεων τους, χωρίς να διαταράσσεται παράλληλα και ο λόγος τους. Επιλέξαμε λοιπόν να κατανέμουμε το **έλλειμμα** ή τη **περίσσεια** των θρεπτικών στοιχείων έτσι ώστε να

μην αφορούν μόνο ένα από αυτά αλλά το σύνολο των θρεπτικών στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος. Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας παρασκευής ενός διαλύματος με τρόπο ώστε να δημιουργείται ένα κατανεμημένο έλλειμμα ή μια κατανεμημένη περίσσεια σε όλα τα μακροστοιχεία είναι πάρα πολύ σημαντική αφού βοηθά καλύτερα την διατήρηση των αναλογιών μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών **[9].**

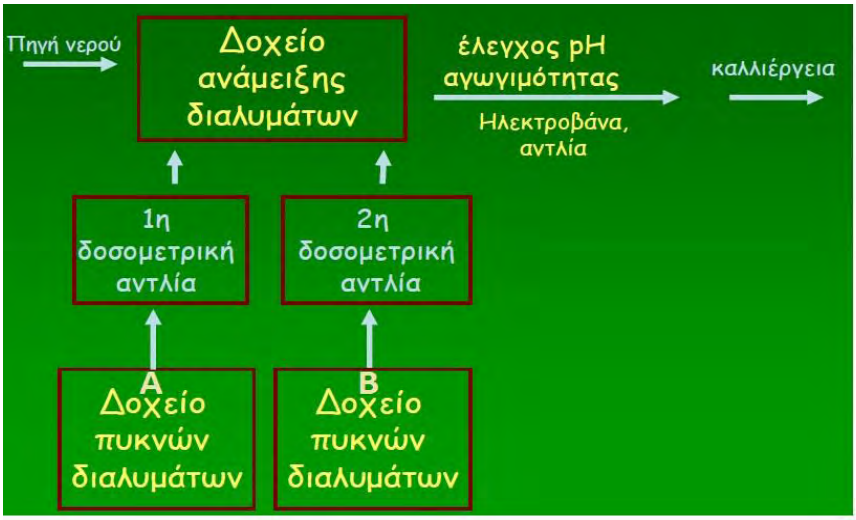
Σκοπός λοιπόν της εργασίας είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου και η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την βελτιστοποίησης παρασκευής ενός θρεπτικού διαλύματος για την υδροπονική καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς.

Κεφάλαιο 2

Ειδικό μέρος

2.1 Τεχνική παρασκευής θρεπτικού διαλύματος

Για την παρασκευή του τελικού θρεπτικού διαλύματος χρησιμοποιούνται δύο δεξαμενές στις οποίες θα δημιουργούνται 100 φορές πυκνότερο διάλυμα, ρίχνοντας στην κάθε δεξαμενή ανάλογη ποσότητα λιπασμάτων. Αυτό το πυκνότερο θρεπτικό διάλυμα θα διοχετευτεί στην κεντρική δεξαμενή όπου θα αραιωθεί και τελικά θα τροφοδοτήσει τα φυτά. Η διάταξη που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, με τη χρήση δύο δεξαμενών (Α και Β) όπου παρασκευάζεται το θρεπτικό διάλυμα παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1



Εικόνα 2.3: Σημειώσεις Σ.Πετρόπουλος e-class uth

Η τοποθέτηση των λιπασμάτων στις δεξαμενές γίνεται ως εξής :

- Στην δεξαμενή Α θα τοποθετήσουμε νιτρικό ασβέστιο, μέρος του νιτρικού καλίου, νιτρική αμμώνια, και χηλικό σίδηρο.
- Στην δεξαμενή Β θα τοποθετήσουμε το υπόλοιπο νιτρικό κάλιο, φωσφορικό μονοκάλιο, θειικό κάλιο, νιτρικό μαγνήσιο, θειικό μαγνήσιο και όλα τα ιχνοστοιχεία.

Ο διαχωρισμός των λιπασμάτων στις δύο δεξαμενές γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται ιζήματα.

Προς το παρόν έχει αναπτυχθεί λογισμικό το οποίο καθιστά σε πραγματικό χρόνο δυνατό τον υπολογισμό των ποσοτήτων των λιπασμάτων που πρέπει να προστεθούν στις δεξαμενές Α και Β για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Αυτό θα μπορούσε να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία διόρθωσης του θρεπτικού διαλύματος στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, μετά από κάθε εφαρμογή του στην καλλιέργεια. Ωστόσο το λογισμικό αυτό βασίζεται στην "στατική" μέθοδο παρασκευής όπως αυτή περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.

Η συνήθης πρακτική που ακολουθείται μέχρι σήμερα για τη σταθεροποίηση της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων σε κάθε κύκλο άρδευσης είναι η ανάμιξη των διαλυμάτων των δεξαμενων Α και Β με καθαρό νερό ή με έλεγχο της αναλογίας των θρεπτικών στοιχείων σε αυτό. Η διόρθωση του θρεπτικού διαλύματος βασίζεται στην τακτική εργαστηριακή χημική ανάλυση της σύνθεσης του απορρέοντος διαλύματος. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται διεθνώς η τάση ανάπτυξης και εφαρμογής έμπειρων συστημάτων τα οποία ενσωματώνουν μοντέλα προσομοίωσης ανάπτυξης της καλλιέργειας και μοντέλα που περιγράφουν τη συμπεριφορά των υποστρωμάτων. Με τα συστήματα αυτά επιχειρείται η παρακολούθηση της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών και ο προσδιορισμός των αναγκών της καλλιέργειας σε θρεπτικά στοιχεία και νερό σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Επιτρέπουν δε τη ρύθμιση της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος, ρυθμίζοντας απ' ευθείας τις αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων σε αυτό και όχι έμμεσα με τη ρύθμιση της EC.

Όλα τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην δημιουργία κατάλληλων προγραμμάτων Η/Υ τα οποία επιτρέπουν τον εύκολο και γρήγορο υπολογισμό των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος με δεδομένη επιθυμητή σύνθεση. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα λογισμικού που χρησιμοποιείται για τον παραπάνω λόγο είναι αυτό που αναπτύχθηκε από τους Σάββας και Αδαμίδης και το οποίο βρίσκεται στην διεύθυνση http://www.ekk.aua.gr/excel/ του Γεωπονικού Πανεπιστήμιου Αθηνών.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση του λογισμικού είναι:

- Όγκος πυκνών διαλυμάτων Α, Β και οξέως σε κυβικά μέτρα (m^3)
- Η επιθυμητή ηλεκτρική αγωγιμότητα του τελικού θρεπτικού διαλύματος που χορηγείται στα φυτά (διάλυμα τροφοδοσίας) σε dS/m.
- Επιθυμητές συγκεντρώσεις καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, νιτρικού αζώτου και αμμωνιακού αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα σε mmol/L.
- Χημική σύσταση νερού
- Αναλογία K:Ca:Mg

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΙ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πυκνά διαλύματα	V, m^3	A
Πυκνό διάλυμα Α	0.5	100
Πυκνό διάλυμα Β	0.5	100
Πυκνό διάλυμα οξέως	0.2	200
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου: Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκαλίο ή 2 για φωσφορικό οξύ	1	
Επιλογή λιπάσματος βορίου: Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)	1	
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου: Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο	2	
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)	1	
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO_3 (mmol/L)	1	
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής $NH_4/(NH_4+NO_3)$ (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH_4 (mmol/L)	1	

Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		
E_t *	2.80	dS/m
pH opt.	5.6	
X: (K)	6.000	
Y: (Ca)	5.000	
Z: (Mg)	2.500	
R (ισε-N/K)	2.500	
Nr (NH4/ΣΟΣ-N)	0.100	
$[H_2PO_4]$	1.250	mmol/l
$[Fe]_t$	12.00	μmol/l
$[Mn]_t$	10.00	μmol/l
$[Zn]_t$	4.00	μmol/l
$[Cu]_t$	0.75	μmol/l
$[B]_t$	20.00	μmol/l
$[Mo]_t$	0.50	μmol/l
[Si]	0.00	mmol/l
% καθαρό Λίπασμα		
καθαρό HNO_3	65	(% w/w)
καθαρό H_3PO_4	85	(% w/w)
Fe σε χηλικό Fe	6	(% w/w)
$(NH_4)_2$ (C17=2, C23=2, C20=4 ή 2)	1.50	
λιπάσματα (kg/δοχείο)	60.75	

Χημική σύσταση νερού		
E.C.	0.32	dS/m
pH	7.3	
Ca^{2+}	0.90	mmol/l
Mg^{2+}	0.30	mmol/l
K^+	0.00	mmol/l
NH_4^+	0.00	mmol/l
Na^+	0.40	mmol/l
SO_4^{2-}	0.20	mmol/l
NO_3^-	0.00	mmol/l
$H_2PO_4^-$	0.00	mmol/l
HCO_3^-	2.00	mmol/l
Cl^-	0.40	mmol/l
Fe	0.00	μmol/l
Mn^{++}	0.00	μmol/l
Zn^{++}	2.15	μmol/l
Cu^{++}	0.00	μmol/l
B	0.00	μmol/l
Mo	0.00	μmol/l
Si	0.00	mmol/l
Σcat_n	2.80	meq/l
Σan_n	2.80	meq/l

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO_4^{2-}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	HCO_3^-	Cl^-	Si
C.A.S.	26.03			8.64	15.38	1.25	0.37	0.40	0.00
C.A.W.		2.80		0.40	0.00	0.00	2.00	0.40	0.00
A.A.F.			24.86	8.24	15.38	1.25	0.00	0.00	0.00
Ca^{2+}	11.39	1.80	9.59	0.00	9.59	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg^{2+}	5.70	0.60	5.10	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K^+	6.83	0.00	6.83	3.14	2.44	1.25	0.00	0.00	0.00
NH_4^+	1.71	0.00	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Na^+	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H^+	0.00	0.00	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00

* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.

Εικόνα 2.2 Δεδομένα λογισμικού

Τα ζητούμενα αφορούν τις ποσότητες των λιπασμάτων που πρέπει να προσθέσουμε στις δεξαμενές Α και Β και παρουσιάζονται στην εικόνα 2.3

Καλλιεργητής:		
Καλλιεργούμενο είδος:		
Τύπος θρεπτικού διαλύματος:		
Ημερομηνία:		
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ		
E.C.	2.80	dS/m
pH	5.60	
Πυκνό διάλυμα Α	500	ΛΙΤΡΑ
1 Νιτρικό ασβέστιο	51.819	Kg
2 Νιτρικό κάλιο	5.368	Kg
3 Νιτρικό αμμώνιο	3.000	Kg
4 Χηλικός σίδηρος	0.559	Kg
Πυκνό διάλυμα Β	500	ΛΙΤΡΑ
1 Νιτρικό κάλιο	6.990	Kg
2 Θειικό μαγνήσιο	31.378	Kg
3 Νιτρικό μαγνήσιο	0.000	Kg
4 Φωσφορικό μονοκάλιο	8.506	Kg
5 Θειικό κάλιο	13.684	Kg
6 Φωσφορικό οξύ	0.000	λίτρα
7 Θειικό μαγγάνιο	84.50	g
8 Θειικός ψευδάργυρος	26.59	g
9 Θειικός χαλκός	9.36	g
10 Βορικό οξύ	61.80	g
11 Βόρακας	0.00	g
12 Solubor	0.00	g
13 Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0.00	g
14 Μολυβδαινικό νάτριο	6.05	g
Πυκνό διάλυμα οξέως	200	ΛΙΤΡΑ
1 Νιτρικό οξύ	4.264	λίτρα
Υπολογισμοί (C_s) για προσθήκη οξέως		
$[H_3O^+]_w$	5.011872336	C_1 (C17=1)
B_w	11.01	26.03
$[CO_3^{2-}]+[HCO_3^-]+[H_2CO_3]$	0.002202	$[X]_1$ (C17=1,
$[H_3O^+]_{(n.s.)}$	0.000002511	C20=1, C23=1)
$B_{(n.s.)}$	1.199530212	6.83
[K] 6.83	$\Sigma_{cation(u.}$	26.03
$[NH_4^+]$ 1.71	$\Sigma_{anion(u.}$	26.03

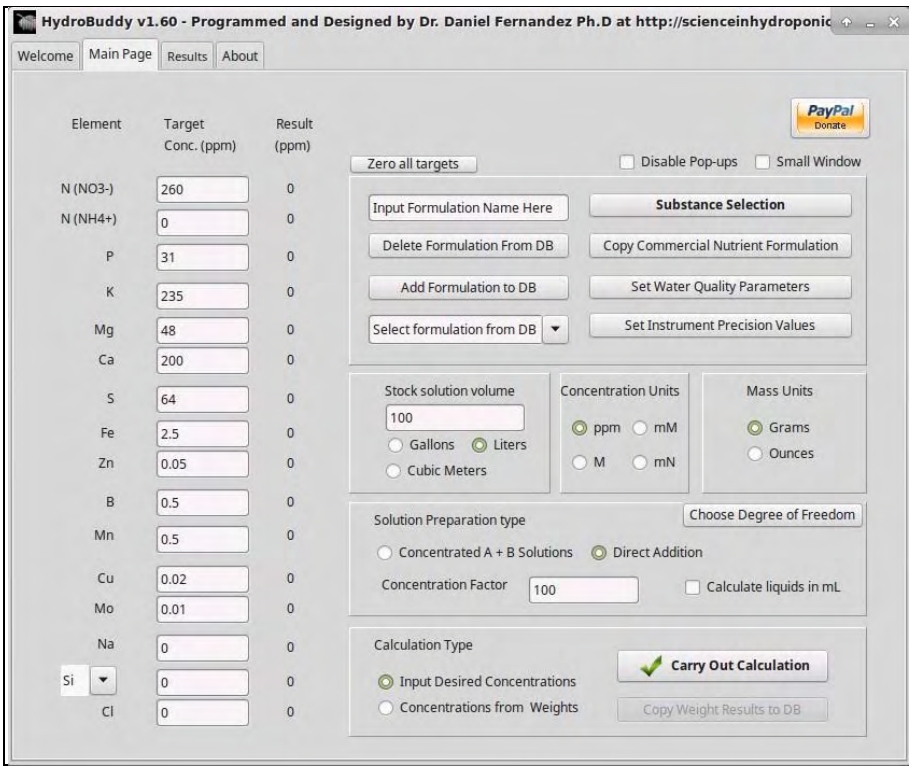
Εικόνα 2.3 Αποτελέσματα λογισμικού

Κατά τον υπολογισμό των μαζών των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος για ανοιχτό υδροπονικό σύστημα οι τιμές αναφέρονται στο τελικό θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά (διάλυμα τροφοδοσίας).

Βασική αρχή για την σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος είναι η επίτευξη των επιθυμητών τιμών στα παρακάτω χαρακτηριστικά: (Δημήτριος Σάββας,Σημειώσεις) **[10]**

- Συνολική συγκέντρωση ανόργανων ιόντων (EC)
- pH
- Αναλογίες ιοντικών συγκεντρώσεων μακροστοιχείων (meq/meq)
- K:Ca:Mg
- N:K
- Η συγκέντρωση των ιόντων NH_4 + (μεταβάλλεται ανάλογα με την ανθεκτικότητα του φυτού και τις διακυμάνσεις του pH στη ριζόσφαιρα.
- $(H_2PO_{4\,-})/(SO_{4\,2-} + NO_3 - + H_2PO_{4\,-})$
- Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων

Στην αγορά υπάρχουν και άλλα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούν μεθόδους παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων παρόμοιους με αυτούς που περιγράφηκαν στην παράγραφο 1.3. Με τους οποίους υπάρχει πάντα μια προκαθορισμένη σειρά επιλογής λιπασμάτων για την κάλυψη των θρεπτικών στοιχείων. Ένα από αυτά είναι το HydroBuddy v.160.



Εικόνα 2.4 Πηγή www.scienceinhydroponics.com

Ο τρόπος λειτουργίας είναι ανάλογος με εκείνη του λογισμικού του καθηγητή κ. Σάββα Δ.

2.2 Λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία

Στην υδροπονική καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς γίνεται χρήση εμπορικών λιπασμάτων τα οποία έχουν μικρή περιεκτικότητα στα επιθυμητά θρεπτικά στοιχεία, δεν παρουσιάζουν καθαρότητα και υπάρχει ο κίνδυνος πρόσμιξης με τοξικά στοιχεία όπως Cl, Mo, Cd τα οποία είναι επιβλαβή τόσο για τα φυτά όσο και για τον άνθρωπο. Αυτά τα λιπάσματα είναι σύνθετα με αποτέλεσμα στην μέθοδο παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος όταν προσθέτουμε ένα λίπασμα να υπάρχουν δύο τιμές που υπολογίζονται, μια για την ποσότητα του κατιόντος και μια για την ποσότητα του ανιόντος, γεγονός που δυσχεραίνει την υπολογιστική διαδικασία και αποτελεί το βασικό πρόβλημα στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Η μεγάλη ποικιλία λιπασμάτων που υπάρχει στην αγορά διαφοροποιεί την επί τις εκατό ποσοστιαία περιεκτικότητα του θρεπτικού στοιχείου που υπολογίζουμε, για παράδειγμα υπάρχει νιτρικό κάλιο (KNO_3) με περιεκτικότητα καλίου 15% σε K_2O αλλά και με 46%.

Όταν χρησιμοποιούμε λίπασμα μεγάλης περιεκτικότητας σε κάποιο θρεπτικό στοιχείο έχουμε μικρότερο κόστος αγοράς αλλά κατά τον υπολογισμό του θρεπτικού στοιχείου μπορεί αναγκαστικά να προστεθεί μεγάλη ποσότητα του σύμπλοκος άλατος, κάτι που πολλές φορές δεν είναι επιθυμητό.

2.3 Βελτιστοποίηση της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος

Η απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά εξαρτάται από τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας και το στάδιο ανάπτυξής της**[11].** Οι κλιματικές συνθήκες (ακτινοβολία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία και συγκέντρωση CO2) που επικρατούν στον χώρο του θερμοκηπίου, επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, επιδρώντας στις λειτουργίες τους, όπως ρυθμός φωτοσυνθετικής ικανότητας, τη διαπνοή, την αναπνοή και την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων **[12]**.Είναι πολύ σημαντικό η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος να προάγει την ανάπτυξη των φυτών χωρίς να δημιουργεί τοξικότητα ή τροφοπενίες**[13].** Επιπλέον ο λόγοι των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να είναι τέτοιοι ώστε να να περιορίζεται η ανταγωνιστικότητά τους. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στη σχέση του καλίου με το άζωτο, του ασβεστίου με το μαγνήσιο, των νιτρικών με τα φωσφορικά και των αμμωνιακών με το ολικό άζωτο. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μεσαίες αναλογίες αμμωνίου-N στα θρεπτικά διαλύματα βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των φυτών, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των λουλουδιών, των φύλλων και του συνολικού ξηρού βάρους, και του μήκους και του πάχους των μπουμπουκιών**[14].**

Βέβαια η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος αποτελεί συνδυασμό πάρα πολλών παραγόντων. Η επιρροή μιας πρόσθετης παροχής αμμωνίακων σε ένα υδροπονικό διάλυμα που περιέχει νιτρικό άλας στο θρεπτικό διάλυμα τριαντάφυλλων έχει μελετηθεί. Εξετάστηκε η επίδραση στην πρόσληψη NPK, στις ρίζες και τα φύλλα, καθώς και οι δραστηριότητες της

αναγωγάσης νιτρικών. Η έρευνα έδειξε πως η προσθήκη αμμωνίου σε ένα θρεπτικό διάλυμα που περιέχει νιτρικά παράγει μια συνολική αύξηση πρόσληψης αζώτου κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης των βλαστών. Ενώ απουσία αμμωνίου, η πρόσληψη νιτρικών ήταν χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης των βλαστών. Η προσθήκη αμμωνίου στο διάλυμα υδροπονίας προκάλεσε αύξηση της πρόσληψης καλίου ενώ η απορρόφηση αμμωνίου ήταν σταθερή.**[15]**

2.4 Η χρήση της τεχνικής του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού στην ανάπτυξη λογισμικού για την βελτιστοποίηση παρασκευής θρεπτικού διαλύματος

Το κάθε θρεπτικό στοιχείο εκλαμβάνεται ως ένα **αντικείμενο** που έχει όλες τις ιδιότητες(συγκέντρωση, σθένος, σημαντικότητα, αριθμός λιπασμάτων). Όλες αυτές οι ιδιότητες που προσδίδονται στο αντικείμενο, δίνουν στο λογισμικό πληροφορίες και κανόνες για τον τρόπο και την ποσότητα λιπάσματος που θα εισαχθεί στην δεξαμενή.

Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού C# (C Sharp). Δημιουργήθηκε από την Microsoft μέσα από την πλατφόρμα .NET και αργότερα αναγνωρίστηκε επισήμως από την Ecma (ECMA-334) και την ISO (ISO/IEC 2327:2006). Είναι μια απ τις γλώσσες προγραμματισμού που δημιουργήθηκαν για την Common Language Infrastructure. Ο κύριος σκοπός της γλώσσας είναι να είναι απλή αντικειμενοστραφής γλώσσα για γενική χρήση. Τα αντικειμενοστραφή προγράμματα οργανώνονται γύρω από τα δεδομένα, δηλαδή όταν προγραμματίζουμε στην ουσία ορίζουμε τα δεδομένα και τις ρουτίνες που επιτρέπεται να δρουν επί αυτών των δεδομένων. Έτσι ένας τύπος δεδομένων ορίζει τι ακριβώς τύπου λειτουργίες μπορούν να εφαρμοστούν επί αυτών των δεδομένων.

Κάθε θρεπτικό στοιχείο του θρεπτικού διαλύματος που θέλουμε να παρασκευάσουμε έχει ένα σύνολο ιδιοτήτων όπως είναι η συγκέντρωση, το σθένος, η σημαντικότητα για το στάδιο της καλλιέργειας, ο αριθμός των λιπασμάτων από το οποίο μπορεί να είναι διαθέσιμο. Η επιλογή του λιπάσματος από το οποίο θα προσθέσουμε εξαρτάται από όλες τις ιδιότητες που έχει το στοιχείο. Για παράδειγμα για το θρεπτικό διάλυμα του πίνακα 1.5, το κάλιο έχει συγκέντρωση 253 ppm, σθένος +1, σημαντικότητα 1 για την βλάστηση και 2 για την άνθιση και αριθμό λιπασμάτων από το οποίο είναι διαθέσιμο 3(νιτρικό κάλιο, θειικό κάλιο, φωσφορικό μονοκάλιο). Πρέπει λοιπόν όταν υλοποιήσουμε το λογισμικό να χρησιμοποιήσουμε μια γλώσσα προγραμματισμού η οποία θα περιγράφει το κάθε στοιχείο του θρεπτικού διαλύματος ως ένα αντικείμενο το οποίο έχει ιδιότητες και συμπεριφορές.

2.5 Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος του λογισμικού με την γλώσσα προγραμματισμού XAML

Πολλές φορές είναι δύσκολη η εισαγωγή δεδομένων χωρίς την χρήση φορμών, κουμπιών και μενού. Η XAML χρησιμοποιείται για τον λόγο αυτό. Μας δίνει πλήθος controls όπως είναι:Buttons, CheckBox, Textline, Border. Η XAML (Extensible Application Markup Language) είναι μια δηλωτική γλώσσα. Συγκεκριμένα, η XAML προετοιμάζει τα αντικείμενα και να ορίζει τις ιδιότητες τους, χρησιμοποιώντας μια δομή της γλώσσας που δείχνει ιεραρχικές σχέσεις μεταξύ πολλαπλών αντικειμένων, και χρησιμοποιεί μια σύμβαση η οποία υποστηρίζει την επέκταση των τύπων. Μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί ένα ξεχωριστό αρχείο πίσω-κώδικα (code-behind) γραμμένο στην C# για να αντιστοιχηθούν τα γεγονότα με τα εργαλεία της XAML. Για παράδειγμα πίσω από το εργαλείο – κουμπί

“Υπολογισμός” τρέχει ένα κομμάτι κώδικα με τον οποίο υπολογίζεται μέσω μίας εξίσωσης μία συγκεκριμένη παράμετρος.

Παράδειγμα δημιουργίας κουμπιού εκτέλεσης XAML

Εικόνα 2.6 Δημιουργία κουμπιού εκτέλεσης

Μετά το πάτημα του κουμπιού ενεργοποιείται ένας κώδικας γραμμένος στην C#.

.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία υλοποίησης

3.1 Θεωρητική επίλυση

Προσδιορισμός προβλήματος.

Η μέθοδος βελτιστοποίησης της σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος δημιουργήθηκε για να βελτιώσει τις υπάρχουσες τεχνικές οι οποίες είχαν ως βασικά προβλήματα τον **μη καταμερισμό** της περίσσειας ή του ελλείμματος. Αυτή διατίθεται στο τελευταίο προς συμπλήρωση στοιχείο γεγονός διαταράσσει τους λόγους μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων, γεγονός που μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά στην ανάπτυξη του φυτού.

Καθορισμός αιτιών που προκαλούν το πρόβλημα.

Το βασικό αίτιο που προκαλεί το παραπάνω πρόβλημα είναι ο προκαθορισμένος τρόπος με τον οποίο συμπληρώνονται διαδοχικά τα θρεπτικά στοιχεία στην διαδικασία σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος.

Ιδανική συνθήκη και παραδοχές.

Η βασική ιδέα προσπάθησε να επιλύσει τα παραπάνω προβλήματα δημιουργώντας έναν **δυναμικό** τρόπο, με τον οποίο θα συμπληρώνουμε τα θρεπτικά στοιχεία με **καταμερισμό** της περίσσειας σε όλα τα προς συμπλήρωση θρεπτικά στοιχεία

Θέσπιση κριτηρίων – συνθηκών που “οδηγούν” στην βελτιστοποίηση.

Τα κριτήρια τα οποία θεσπίσαμε βελτιώνουν σημαντικά τον τρόπο σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος. Αφού χειριζόμαστε τα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία σαν **αντικείμενα** τα οποία έχουν ιδιότητες και συμπεριφορές όπως αναφέραμε στην παράγραφο 2.5.Εισάγεται επίσης η έννοια της βαρύτητας η οποία εξαρτάται από τις ιδιότητες των αντικειμένων.

Διαδικασία επίλυσης

Η μέθοδος βελτιστοποίησης επιμερίζει την υπολογιστική διαδικασία σε **κύκλους** κατά τους οποίους υπολογίζεται η προσθήκη μίας **μικροποσότητας** για κάθε θρεπτικό στοιχείο. Αυτή η μικροποσότητα διατηρεί στο θρεπτικό διάλυμα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται στο τέλος του κάθε κύκλου. Ωστόσο σε κάθε κύκλο τα κριτήρια επιλογής όχι μόνο της ποσότητας αλλά και των λιπασμάτων που θα προστεθούν μπορεί να αλλάξουν. Για το λόγο αυτό για κάθε ένα από τα λιπάσματα ή τα θρεπτικά στοιχεία(αντικείμενα) θεσπίζεται διαφορετική βαρύτητα. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία μπορεί να προσδώσει σε κάθε κύκλο διαφορετικές ανάγκες για το κάθε θρεπτικό στοιχείο οι οποίες καθορίζονται από την έννοια της **βαρύτητας**.

Η βαρύτητα καθορίζει την μικροποσότητα θρεπτικού στοιχείου που θα προστεθεί στο θρεπτικό διάλυμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της βαρύτητας τόσο μεγαλύτερη ποσότητα που προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα. Η τιμή της βαρύτητας εξαρτάται από τις ιδιότητες του αντικειμένου θρεπτικού στοιχείου όπως:

1. Μοναδικότητα στοιχείου σε χρησιμοποιούμενα λιπάσματα.
2. Έλλειμμα του θρεπτικού στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα.
3. Συνολική απομένουσα ποσότητα που πρόκειται να προστεθεί ακόμη.

Άρα η συνολική βαρύτητα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άθροισμα βαρυτήτων ανάλογα με τα κριτήρια που ικανοποιούν συγκεκριμένες ανάγκες. Συνοψίζοντας η μέθοδος υπολογισμού δημιουργεί αντικείμενα τα οποία έχουν ιδιότητες σύμφωνα με τις οποίες δημιουργείται μια βαρύτητα. Σε μια επαναληπτική διαδικασία σε κύκλους η βαρύτητα καθορίζει την προσθήκη μικροποσοτήτων του θρεπτικού στοιχείου για τη τελική σύνθεση του επιθυμητού θρεπτικού διαλύματος.

3.2 Υλοποίηση και περιγραφή του αλγορίθμου

Θα χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα 3.1 για να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο με τις αντίστοιχες τιμές των θρεπτικών στοιχείων.

Πίνακας 3.1 Σύνθεση επιθυμητού θρεπτικού διαλύματος εκφρασμένο σε ppm.

Μαγνήσιο	36
Κάλιο	253
Νιτρικά	759
Φωσφορικά	31,6
Αμμωνιακά	19.1
Θειικά	72
Ασβέστιο	160
Χαλκός	0.00448
Χλώριο	0

Η υλοποίηση του αλγορίθμου περιγράφεται ως εξής:

Χωρίζουμε το σύνολο των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο θρεπτικό διάλυμα σε κατιόντα και ανιόντα και δημιουργούμε δύο μονοδιάστατους πίνακες με τις επιθυμητές τιμές που θα πρέπει να έχουν στο θρεπτικό διάλυμα. Για τον υπολογισμό αυτό συνεκτιμάται και η σύσταση του νερού.

Πίνακας 3.2 με τις ποσότητες των κατιόντων εκφρασμένες σε ppm προς διάθεση.

Ποσότητα Ca	**Ποσότητα K**	**Ποσότητα Mg**	**Ποσότητα NH**
160	253	36	19.1

Πίνακας 3.3 με τις ποσότητες των στοιχείων(ανιόντα) εκφρασμένες σε ppm προς διάθεση.

Ποσότητα NO_3	**Ποσότητα $S0_4$**	**Ποσότητα H_2PO_4**
759	72	31.6

Χρησιμοποιώντας τους πίνακες 3.2 και 3.3 υπολογίζουμε την βαρύτητα του κάθε θρεπτικού συστατικού ως εξής:

Βαρύτητα_Στοιχείου =Ποσότητα_Στοιχείου/(Συνολική_Ποσότητα+1) **(Συνθήκη 1)**

Εφαρμόζοντας την σχέση (1) προκύπτει ότι:

- Βαρύτητα_Ca=160/1331=0.12
- Βαρύτητα_K=253/1331=0.19
- Βαρύτητα_Mg=36/1331=0.03
- Βαρύτητα_NH=19.1/1331=0.015

Πίνακας 3.4 Αρχικός πίνακας βαρυτήτων κατιόντων που θα ισχύσει για τον κύκλο εκτίμησης ποσότητας των λιπασμάτων που θα προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα.

Βαρύτητα Ca	**Βαρύτητα K**	**Βαρύτητα Mg**	**Βαρύτητα NH**
0.12	0.19	0.03	0.015

Ο πίνακας 3.4 προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη τη βαρύτητα που οφείλεται **μόνο** στην ποσότητα θρεπτικού στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα. Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 3.1 η βαρύτητα εξαρτάται από ένα σύνολο ιδιοτήτων και όχι μόνο από την ποσότητα. Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη βαρύτητα του κάθε θρεπτικού στοιχείου είναι τα χαρακτηριστικά του λιπάσματος από το οποίο προέρχονται . Για παράδειγμα το ασβέστιο μπορεί να αντληθεί μόνο από το νιτρικό ασβέστιο, ενώ το κάλιο από τρεις επιλογές (νιτρικό, θειικό, φωσφορικό). Άρα θα πρέπει να τροποποιήσουμε την βαρύτητα του ασβεστίου πολλαπλασιάζοντας την με ένα συντελεστή ο οποίος θα ορίζει τη μοναδικότητα του λιπάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή Ca. Εκτιμήθηκε ότι ο συντελεστής αυτός είναι το 10. Οπότε ο πίνακας 3.4 τροποποιείται ως εξής:

Πίνακας 3.5 Τροποποιημένος πίνακας βαρυτήτων κατιόντων

Βαρύτητα Ca	**Βαρύτητα K**	**Βαρύτητα Mg**	**Βαρύτητα NH**
1.2	0.19	0.03	0.15

Όσο περισσότερες ιδιότητες του θρεπτικού στοιχείου λαμβάνουμε υπόψη στον υπολογισμό της βαρύτητας, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουμε στην βελτιστοποιημένη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Επομένως το σύνολο των πληροφοριών που διαθέτουμε για το κάθε στοιχείο πρέπει να εμπεριέχεται στην τιμή της βαρύτητας, η οποία σε κάθε κύκλο συνεχώς μεταβάλλεται.

Όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 3.1 με την ολοκλήρωση ορισμένων κύκλων εκτέλεσης της διαδικασίας παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος η συγκέντρωση ενός θρεπτικού στοιχείου παύει να έχει κυρίαρχη σημασία ή με άλλα λόγια χάνει την βαρύτητα που αρχικά του είχε αποδοθεί. Άλλοι παράγοντες όπως η περρίσεια του συμπλόκου στοιχείου που προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα με τη χρήση του ίδιου λιπάσματος τροποποιούν το κριτήριο επιλογής και διαμορφώνουν εκ νέου τη βαρύτητα του. Για παράδειγμα η προσθήκη καλίου μπορεί να γίνεται για 80 κύκλους από το νιτρικό κάλιο γιατί έχουμε περρίσεια νιτρικών.

Επειδή η βαρύτητα πρέπει να αποδοθεί και να συσχετιστεί με αλλαγή χρήσης κανόνων καθώς και αλλαγή χρήσης συμπλόκων λιπασμάτων ο αλγόριθμος προβλέπει αυτή την αλλαγή ως εξής:

- **Συνθήκη 2:** Αν το κατιόν υπάρχει μόνο σε ένα λίπασμα θα πρέπει να εκφράζει μεγαλύτερη βαρύτητα από ένα κατιόν που υπάρχει σε τρία λιπάσματα.
- **Συνθήκη 3:** Όταν ένα κατιόν μπορεί να συνδεθεί με περισσότερα από ένα ανιόντα επιλέγουμε το ανιόν με την μεγαλύτερη βαρύτητα δηλαδή πρακτικά το ανιόν που έχει μεγαλύτερη απομείνασα ποσότητα

Μετά από την εφαρμογή της διαδικασίας που αναφέρθηκε παραπάνω για 80 κύκλους εκτίμησης της ποσότητας των λιπασμάτων για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος, η εκτίμηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων που υπολείπονται να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα. Οι αντίστοιχες βαρύτητες για το καθένα από αυτά φαίνονται στους πίνακες 3.6 έως 3.8.

Λόγω της αυξημένης ποσότητας NO_3^- που πρέπει να προστεθεί στο θρεπτικό διάλυμα σε σχέση με αυτή των SO_4, δηλαδή της αυξημένης βαρύτητας αντίστοιχης βαρύτητας των νιτρικών έναντι των θειικών. Όλα τα κατιόντα προστέθηκαν στο θρεπτικό διάλυμα από λιπάσματα τα οποία περιέχουν ως σύμπλοκο τα NO_3^-.

Πίνακας 3.6 ποσοτήτων κατιόντων που απομένουν να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα εκφρασμένες σε ppm μετά από 80 κύκλους.

Ποσότητα Ca	**Ποσότητα K**	**Ποσότητα Mg**	**Ποσότητα NH**
142.27	247.16	35.87	18.84

Πίνακας 3.7 βαρυτήτων κατιόντων μετά από 80 κύκλους.

Βαρύτητα Ca	**Βαρύτητα K**	**Βαρύτητα Mg**	**Βαρύτητα NH**
1.13	0.2	0.03	0.01

Πίνακας 3.8 ποσοτήτων ανιόντων που απομένουν να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα εκφρασμένες σε ppm μετά από 80 κύκλους .

Ποσότητα NO_3	**Ποσότητα $S0_4$**	**Ποσότητα H_2PO_4**
741.41	72	0

Παρατηρήσεις

- Είναι προφανές πως το ασβέστιο προστέθηκε από το νιτρικό ασβέστιο.
- Η ποσότητα NO_3 που απομένει να προστεθεί στο διάλυμα μειώθηκε ενώ η ποσότητα του SO_4 παρέμεινε η ίδια σε σχέση με αυτές που περιγράφονται στον πίνακα 3.2.

Με βάση τις συνθήκες 1,2,3 μετά από ορισμένο αριθμό κύκλων ισχύει:

Ποσότητα(NO3)= Ποσότητα(SO4) **(Συνθήκη 4)**

Οπότε οι ποσότητες των θρυπτικών στοιχείων που απομένουν να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα και οι αντίστοιχες βαρύτητες για το καθένα από αυτά φαίνονται στους πίνακες 3.9 έως 3.11. Όπως φαίνεται στους πίνακες αυτούς οι ποσότητες των νιτρικών και θειικών που απομένει να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα είναι περίπου ίσες. Κατά συνέπεια οι βαρύτητες των KNO3 και KSO4 γίνονται ίσες και το λογισμικό μπορεί να επιλέξει την προσθήκη καλίου και από το KSO4 εάν κάποιος άλλος περιορισμός δεν το απαγορεύει.

Πίνακας 3.9 ποσοτήτων κατιόντων που απομένουν να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα εκφρασμένες σε ppm μετά από 5000 κύκλους.

Ποσότητα Ca	**Ποσότητα K**	**Ποσότητα Mg**	**Ποσότητα NH**
0	1.02	15.04	0.78

Πίνακας 3.10 βαρυτήτων κατιόντων μετά από 5000 κύκλους.

Βαρύτητα Ca	**Βαρύτητα K**	**Βαρύτητα Mg**	**Βαρύτητα NH**
0	0.01	0.09	0.001

Πίνακας 3.11 ποσοτήτων ανιόντων που απομένουν να προστεθούν στο θρεπτικό διάλυμα εκφρασμένες σε ppm μετά από 5000 κύκλους .

Ποσότητα NO_3	**Ποσότητα $S0_4$**	**Ποσότητα H_2PO_4**
71.99	72	0

Συμπερασματικά για κάθε κύκλο, πρέπει να υπολογίσουμε τις βαρύτητες των κατιόντων και των ανιόντων και να επιλέξουμε το λίπασμα, από το οποίο θα γίνει η προσθήκη της μικροποσότητας του θρεπτικού στοιχείου. Καθώς εκτελείται ο αλγόριθμος με τις συνεχόμενες μεταβολές στις τιμές των βαρυτήτων υπολογίζονται διαφορετικές μικροποσότητες από διαφορετικά λιπάσματα, που πρέπει να προστεθούν για να ικανοποιούν τον τρέχον κύκλο υπολογισμού της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος.

Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στην εκτίμηση – υπολογισμού ποσοτήτων και όχι στην αυτόματη σύνθεση και δημιουργία θρεπτικού διαλύματος. Τελικό προϊόν είναι οι εκτιμώμενες ποσότητες σε kg από το κάθε λίπασμα που θα πρέπει ο παραγωγός να προσθέσει στις δεξαμενές A και B ώστε να παρασκευάσει μητρικά διαλύματα τα οποία με την σειρά τους θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του τελικού θρεπτικού διαλύματος.

Μετά από την εφαρμογή 5001 κύκλων και μέχρι τον τερματισμό εκτέλεσης του λογισμικού το κάλιο και το μαγνήσιο θα επιλέγονται μεταξύ νιτρικών και αμμωνιακών συμπλόκων λιπασμάτων ανάλογα με τη βαρύτητα του καθενός όπως αυτή διαμορφώνεται σε κάθε κύκλο. Επειδή ο αλγόριθμος ενημερώνει σε κάθε κύκλο την βαρύτητα μπορεί σε κάποιο άλλο κύκλο να επιλεγεί το νιτρικό κάλιο, και στον επόμενο κύκλο εξαιτίας της αλλαγής βαρύτητας των ανιόντων να επιλεγεί το θειικό κάλιο. Στην πραγματικότητα μετά από ένα σημείο έχουμε μια διελκυστίνδα μεταξύ βαρυτήτων ανιόντων.

Τερματισμός αλγορίθμου

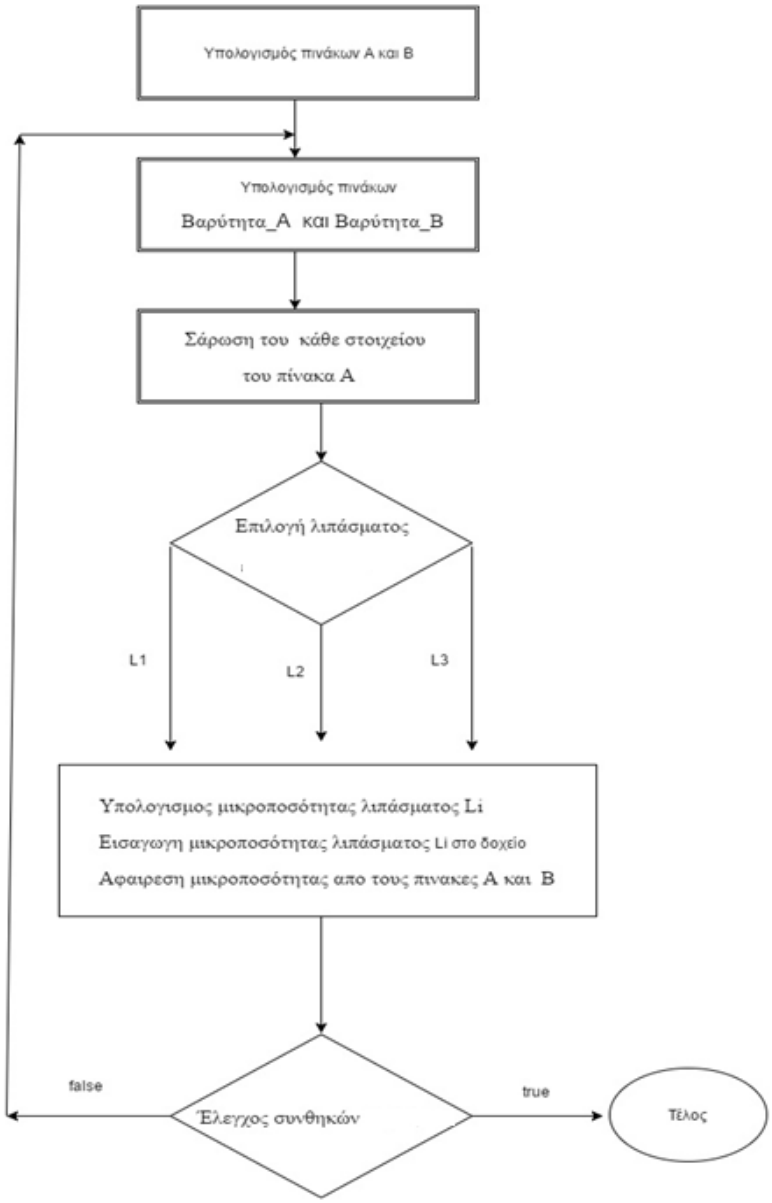
Ο Αλγόριθμός θα σταματά με τους εξής τρόπους:

- Συνθήκη 5: Θα έχει τοποθετηθεί όλη η ποσότητα των κατιόντων και θα υπολείπεται η προσθήκη μόνο ανιόντων.

- Συνθήκη 6: Θα έχει τοποθετηθεί όλη η ποσότητα των ανιόντων και θα υπολείπεται η προσθήκη μόνο κατιόντων.

- Συνθήκη 7: Θα έχουν τοποθετηθεί όλα τα ιόντα.

Το διάγραμμα ροής που περιγράφει όλες τις παραπάνω διαδικασίες φαίνεται στην εικόνα 3.1



Εικόνα 3.1: Διαγραμματική αναπαράσταση αλγορίθμου.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα-Εκτέλεση διαφορετικών σεναρίων

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό που αναπτύχθηκε θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τον δυναμικό τρόπο υπολογισμού της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος. Το νερό που χρησιμοποιήθηκε είχε συγκεκριμένη σύσταση όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1 Σύσταση του νερού άρδευσης εκφρασμένο σε ppm.

Μαγνήσιο	35
Κάλιο	3.5
Νιτρικά	66
Φωσφορικά	0
Αμμωνιακά	0.26
Θειικά	10
Ασβέστιο	68
Χαλκός	0
Χλώριο	34.5

Χρησιμοποιώντας τα σύνθετα λιπάσματα όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 2 και βάζοντας ως παραμέτρους διαμόρφωσης της βαρύτητας για το κάθε θρεπτικό στοιχείο, πρώτον την επιθυμητή συγκέντρωση (Πίνακας 4.2) και δεύτερον τον τύπο του λιπάσματος (Πίνακας 4.3) εκτελέσαμε σενάρια υπολογισμού των ποσοτήτων που πρέπει να προστεθούν στις δεξαμενές Α και Β.

Πίνακας 4.2 Σύνθεση επιθυμητού θρεπτικού διαλύματος εκφρασμένο σε ppm.

Μαγνήσιο	36
Κάλιο	253
Νιτρικά	759
Φωσφορικά	31,6
Αμμωνιακά	19.1
Θειικά	72
Ασβέστιο	160
Χαλκός	0.00448
Χλώριο	0

Εικόνα 4.1: Αποτελέσματα λογισμικού .

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στις δύο δεξαμενές χωρητικότητας 1000 L .

Σενάριο 1

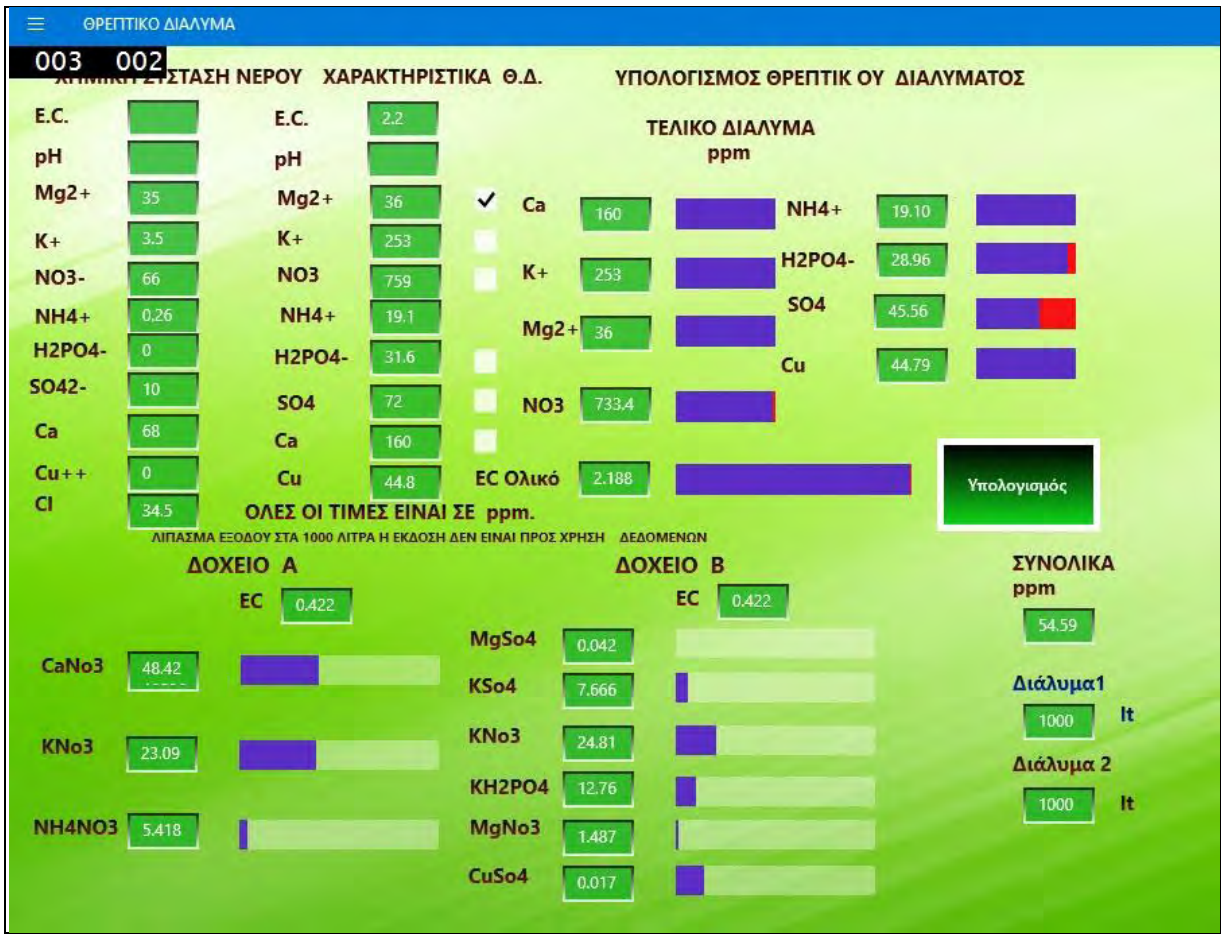
Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα λογισμικού

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	732	27
Φωσφορικά	31,6	28.9	2.7
Αμμωνιακά	19.1	19.1	0
Θειικά	72	45.5	26.5
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό. Επιμερίστηκε σε τρία στοιχεία νιτρικά, φωσφορικά και θειικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.4 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.6
Νιτρικό Κάλιο	23.3	Θειικό Κάλιο	7.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	25.1
		Φωσφορικό Κάλιο	12.7
		Νιτρικό Μαγνήσιο	0.6



Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στο μαγνήσιο.

Σενάριο 2 βαρύτητα στο μαγνήσιο

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στα δύο δοχεία χωρητικότητας 1000 L .

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στο μαγνήσιο.

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	733.4	26.6
Φωσφορικά	31,6	28.9	2.7
Αμμωνιακά	19.1	19.1	0
Θειικά	72	45.5	26.5
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό. Επιμερίστηκε σε τρία στοιχεία νιτρικά, φωσφορικά και θειικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.6 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.6
Νιτρικό Κάλιο	23.3	Θειικό Κάλιο	7.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	25.1
		Φωσφορικό Κάλιο	12.7
		Νιτρικό Μαγνήσιο	0.6

Σενάριο 3 με βαρύτητα στο κάλιο

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.163 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Μεταβάλλεται ανεπαίσθητα από 2.188 σε 2.163 **μS/cm.**

Πίνακας 4.7 Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στο κάλιο

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	759	0
Φωσφορικά	31,6	26.0	5.6
Αμμωνιακά	19.1	14.66	4.4
Θειικά	72	19.9	52
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, επιμερίστηκε σε τρία στοιχεία θειικά, φωσφορικά και αμμωνιακά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το βάρος του ελλείμματος στα θειικά

Πίνακας 4.8 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.9
Νιτρικό Κάλιο	26.4	Θειικό Κάλιο	1.3
Νιτρικό Αμμώνιο	3.4	Νιτρικό Κάλιο	29.4
		Φωσφορικό Κάλιο	11.5
		Νιτρικό Μαγνήσιο	0.1

Σενάριο 4 με βαρύτητα στα νιτρικά

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στα δύο δοχεία χωρητικότητας 1000 L .

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα λογισμικού στα νιτρικά

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	759	0
Φωσφορικά	31,6	27.2	4.4
Αμμωνιακά	19.1	18.9	0.2
Θειικά	72	44.8	27.2
Ασβέστιο	160	160	0

Επιμερίστηκε το έλλειμμα σε τρία στοιχεία θειικά, φωσφορικά και αμμωνιακά και καθόλου σχεδόν νιτρικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.10 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.6
Νιτρικό Κάλιο	23.3	Θειικό Κάλιο	7.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	25.1
		Φωσφορικό Κάλιο	12.7
		Νιτρικό Μαγνήσιο	0.6

Σενάριο 5 με βαρύτητα στα φωσφορικά

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στα δύο δοχεία χωρητικότητας 1000 L

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στα φωσφορικά

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	730	29
Φωσφορικά	31,6	31.4	0.2
Αμμωνιακά	19.1	19.1	0
Θειικά	72	43.6	28.4
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει

αυτό. Επιμερίστηκε σε δύο στοιχεία νιτρικά και θειικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.12 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.2
Νιτρικό Κάλιο	21.6	Θειικό Κάλιο	12.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	22.2
		Φωσφορικό Κάλιο	11.6
		Νιτρικό Μαγνήσιο	1.2

Σενάριο 6 με βαρύτητα στα θειικά

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στα δύο δοχεία χωρητικότητας 1000 L

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στα θειικά

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	707	52
Φωσφορικά	31,6	26.3	5.3
Αμμωνιακά	19.1	19.1	0
Θειικά	72	66.9	5.1
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό. Επιμερίστηκε σε τρία στοιχεία νιτρικά, φωσφορικά και ελάχιστα θειικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.14 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.2
Νιτρικό Κάλιο	21.6	Θειικό Κάλιο	12.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	22.2
		Φωσφορικό Κάλιο	11.6
		Νιτρικό Μαγνήσιο	1.2

Σενάριο 7 με βαρύτητα στο ασβέστιο

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου, το πρόγραμμα υπολογίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία είναι 2.188 **μS/cm,** το λογισμικό διατηρεί την αγωγιμότητα σε τιμές που είναι επιθυμητές και αποδεκτές για την καλλιέργεια του τριαντάφυλλου. Επιπλέον, υπολογίζει την ποσότητα του κάθε στοιχείου που μπόρεσε να καλυφθεί. Επίσης μας ενημερώνει για την ποσότητα των λιπασμάτων που θα πρέπει να διοχετεύσουμε στα δύο δοχεία χωρητικότητας 1000 L .

Πίνακας 4.15 Αποτελέσματα λογισμικού με βαρύτητα στο ασβέστιο

Στοιχείο	Επιθυμητές τιμές Θ.Δ (ppm)	Τιμές που καλύφθηκαν (ppm)	Αδιάθετες τιμές (ppm)
Μαγνήσιο	36	36	0
Κάλιο	253	253	0
Νιτρικά	759	732	27
Φωσφορικά	31,6	28.9	2.7
Αμμωνιακά	19.1	19.1	0
Θειικά	72	45.5	26.5
Ασβέστιο	160	160	0

Παρατηρούμε λοιπόν, πως το έλλειμμα που υπήρξε δεν διατέθηκε εξ' ολοκλήρου σε ένα στοιχείο όπως θα γίνονταν με τον στατικό τρόπο, με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό. Επιμερίστηκε σε τρία στοιχεία νιτρικά, φωσφορικά και θειικά με ένα τρόπο υπολογισμού δυναμικό, με το λογισμικό να αποφασίζει από μόνο του και με βάση τους κανόνες που του έχουμε προσθέσει τον τρόπο με τον οποίο θα συνθέσει το θρεπτικό διάλυμα.

Πίνακας 4.16 Ποσότητες λιπασμάτων που προστίθενται στις δεξαμενές.

Δοχείο Α 1000 L		**Δοχείο Β 1000 L**	
Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)	Λιπάσματα	Ποσότητα (Kg)
Νιτρικό Ασβέστιο	48.4	Θειικό Μαγνήσιο	0.6
Νιτρικό Κάλιο	23.3	Θειικό Κάλιο	7.1
Νιτρικό Αμμώνιο	5.4	Νιτρικό Κάλιο	25.1
		Φωσφορικό Κάλιο	12.7
		Νιτρικό Μαγνήσιο	0.6

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Η μέθοδος βελτιστοποίησης επιμερίζει την υπολογιστική διαδικασία σε **κύκλους** κατά τους οποίους υπολογίζεται η προσθήκη μίας **μικροποσότητας** για κάθε θρεπτικό στοιχείο. Η τιμή αυτής της μικροποσότητας διατηρεί στο θρεπτικό διάλυμα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Επομένως σε κάθε κύκλο ελέγχουμε τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος αλλά και τις ιδιότητες του θρεπτικού στοιχείου. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία μπορεί να προσδώσει σε κάθε κύκλο διαφορετικές ανάγκες για το κάθε θρεπτικό στοιχείο οι οποίες καθορίζονται από την έννοια της **βαρύτητας**.

Με βάση την διαδικασία βελτιστοποίησης της σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος που περιγράψαμε σε αυτή την εργασία διαπιστώνεται:

1. Η εισαγωγή κριτηρίων που διαμορφώνουν την βαρύτητα του κάθε θρεπτικού στοιχείου για κάθε κύκλο υπολογισμού καθιστά την μέθοδο **δυναμική**. Μπορούμε να μεταβάλλουμε τα κριτήρια ή να προσθέσουμε νέα για την εκτίμηση των λιπασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος π.χ ίδιος τύπος λιπάσματος με διαφορετική περιεκτικότητα.
2. Μείωση περίσσειας ή ελλείμματος θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα με συνέπεια την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού και το μικρότερο κόστος καλλιέργειας.
3. Κατακερματισμός της περίσσειας ή του ελλείμματος σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία διατηρώντας τους λόγους μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Savvas D. & Adamidis K. (1999). Automated Management of Nutrient Solutions Based on Target Electrical Conductivity, pH, and Nutrient Concentration Ratios. *J. Plant Nutr*. 22(9), 1415-1432.

[2] De Rijck G. & Schrevens E. (1999) Anion Speciation in Nutrient Solutions as a Function of pH. *Journal of Plant Nutrition*, Vol.22, No.2, (Feb 1999), pp. 269-279. ISSN 0190-4167.

[3] Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants, *Academic Press*, ISBN 0-12-473542-8, New York, U. S. A.

[4] Nemali, K. S. & Van Iersel, M. W. (2004). Light Intensity and Fertilizer Concentration: I. Estimating Optimal Fertilizer Concentration from Water-Use Efficiency of Wax Begonia. *HortScience*, Vol.39, No.6, (Oct 2004), pp. 1287-1292. ISSN 0018-5345

[5] Sonneveld, C. & Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, Springer, ISBN 9048125316, New York, U. S. A.

[6] Sawas, D. (1992). Vegetatives und generatives Wachstum bei Auberginen (Solatium melongena L.) in Hydrokultur in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit der Nährlösung. Ph.D. dissertation, University of Bonn, Bonn, Germany.

[7] Van Os, E., Gieling, T.H. & Lieth, J.H. (2008). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless Culture: Theory and Practice*.

[8] Savvas, D., 2001. Nutritional Management of Vegetables and Ornamental Plants in Hydroponics. In: Dris, R. Niskanen, R., and S.M. Jain (Eds). Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products. Volume I: Quality Management. Science Publishers, Enfield, N.H., U.S.A.: pp. 37-87.

[9] A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil*, Vol.15, No.2, (October, 1961), pp. 134-154, ISBN 0032-079X.

[10] (Δημήτριος Σάββας,Σημειώσεις) http://www.ekk.aua.gr/excel/INSTRUCTIONS-GR.pdf

[11] Steiner, A. A. (1980). The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. Proceedings Congress of Soilless Culture, pp. 83–95.

[12] Challa, H., Bakker, J.C., 1995. Crop growth. In: Bakker, J.C., G.P.A. Bot, H. Challa, and N.J. van de Braak (eds): Greenhouse Climate Control, An Integrated Approach. Wageningen Pres, The Netherlands: pp. 15-124.

[13] Kipp, J.A., Wever, G., De Kreij, C., 1999. International Substrate Manual. Elsevier, The Netherlands, 122 pp.

[14] Sonneveld, C. (2002). Composition of nutrient solutions. In Savvas, D., Passam, H.(eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp.179-210.

[15] Lorenzo, H., Cid, M. C, Siverio, J. M. & Caballero, M. (2000). Influence of Additional Ammonium Supply on Some Nutritional Aspects in Hydroponic Rose Plants. *The Journal of Agricultural Science*, Vol.134, No.4, (Sep, 2000), pp. 421-425, ISSN 00218596.